

створе и влиянием длины измеряемой линии на точность ее измерения можно пренебречь. По нашему мнению, такие цепи могут найти применение в инженерной практике.

**Список литературы:** 1. *Бронштейн Г. С.* Измерение расстояний во всех комбинациях. — «Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка», 1970, вып. 4. 2. *Виленский В. А.* Исследование зависимости ошибок линий, измеренных свето- и радиодальномерами, от длин линий. — «Доклады и научные сообщения Львовского политехнического института», 1975, № 4. 3. *Кутузов И. А.* Накопление погрешностей в рядах триангуляции с измеренными сторонами. — «Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка», 1957, вып. 2.

Работа поступила 1 июня 1977 года. Рекомендована кафедрой прикладной геодезии Львовского политехнического института.

УДК 528.3

*Б. М. ДЖУМАН*, канд. техн. наук  
Львовский политехнический институт

## **РЕДУЦИРОВАНИЕ ИЗМЕРЕННЫХ ЗЕНИТНЫХ РАССТОЯНИЙ НА ПЕРИОДЫ СПОКОЙНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО ВЕРТИКАЛЬНЫМ КОЛЕБАНИЯМ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВИЗИРНЫХ ЦЕЛЕЙ**

Высокая точность тригонометрического нивелирования может быть достигнута при измерении зенитных расстояний в периоды спокойных изображений, т. е. при нейтральной термической стратификации в приземном слое воздуха [1]. Однако эти периоды, особенно в равнинных районах, где лучи визирования проходят низко над подстилающей поверхностью, могут быть незначительны. Это, естественно, сужает возможности применения данного метода.

Чтобы расширить продолжительность наблюдений в периоды спокойных изображений путем введения редукций в зенитные расстояния с использованием измеренных амплитуд колебаний изображений визирных целей в вертикальной плоскости, в августе 1973 г. на геодезическом полигоне Львовского политехнического института были выполнены экспериментальные наблюдения.

На пункте Б измеряли зенитные расстояния инструментом ОТ-02М с переносного штатива, температуру на двух высотах, скорость ветра, давление и максимальные амплитуды вертикальных колебаний изображений.

Температуру измеряли психрометром Асмана на высотах 1,5 и 5,0 м над подстилающей поверхностью, а давление и скорость ветра соответственно анероидом и ручным анемометром

на высоте инструмента. Колебания изображений определяли тем же инструментом ОТ-02М с помощью вертикальной шкалы, нарезанной в плоскости центра сетки нитей. Причем отсчеты максимума и минимума колебаний верха визирной цели производили поочередно в течение одной минуты и в дальнейшем при обработке использовали максимальные колебания изображений.

Высоты инструментов и визирных целей измеряли стальной рулеткой с точностью 0,5 см. Зенитные расстояния и колебания изображений определяли по восьми направлениям. Визирными целями на точках 1, 2, 3 и 5 служили самодельные марки высотой до 2 м, а на пунктах триангуляции 4, Я, А и 6 — визирные цилиндры геодезических знаков. Расстояния от пункта Б до визирных целей колебались от 0,6 до 5,5 км.

Таблица 1

Эквивалентные высоты и длины линий с пункта Б

Показатель	Направление							
	1	2	3	4	5	Я	А	6
$h_a$ , м	5,0	2,5	9,0	11,1	9,1	29,0	34,5	18,0
$S$ , км	1,9	0,6	1,1	2,0	2,5	5,5	4,0	2,7

Визирные лучи по направлениям 1, 2, 3, 4, Я и 5 проходили над посевами и пашней, а по направлениям А и 6 — над сельскохозяйственными угодьями, населенным пунктом и озером. Эквивалентные высоты прохождения визирных лучей колебались от 2,5 до 35 м. Все измерения были выполнены в светлое время суток; в каждый четный час (по два приема наблюдений) и в периоды спокойных изображений (по два-три приема).

Абсолютные высоты пунктов и марок получены методом геометрического нивелирования 2 кл. Длины сторон измерены РДГВ по программе измерения базисных сторон 3 кл. Эквивалентные высоты вычислены для линий Б-1, Б-2, Б-3, Б-4 и Б-5 по материалам технического нивелирования, а для остальных линий — по картам. Эквивалентные высоты и длины линий приведены в табл. 1.

Рассмотрим зависимость амплитуды колебаний изображений от разности температур, измеренных на двух высотах. Для этого сначала выведем зависимость амплитуды от вертикального градиента температуры.

Интегральный коэффициент рефракции  $k$  запишем в следующем виде:

$$k = \frac{2}{S^2} \int_0^S \kappa(t) (S - l) dl, \quad (1)$$

где  $\kappa(t)$  — точечный коэффициент рефракции (случайная функция времени).

Теперь, следуя работе [3], имеем

$$k = k_n + \frac{668,7 P}{T^2} \cdot \frac{c(t)}{h_3} \quad (2)$$

Здесь  $k_n$  — коэффициент рефракции для нейтральной температурной стратификации в приземном слое, равный  $+0,15$  [2];  $c(t)$  — аномальный градиент температуры на высоте 1 м над подстилающей поверхностью.

Вследствие флуктуаций аномального градиента температуры коэффициент рефракции в определенном промежутке  $t$  принимает экстремальные значения (в нашем случае  $t=1$  мин). Тогда на основании формулы (2) получаем

$$k - \bar{k} = \frac{668,7 P}{T^2} \cdot \frac{c - \bar{c}}{h_3}, \quad (3)$$

где  $k$  — максимальное значение коэффициента рефракции за время  $t$ ;  $\bar{k}$  — среднее значение коэффициента рефракции.

Выражая в формуле (3) коэффициенты рефракции через частные углы рефракции (соответственно  $\rho$  и  $\bar{\rho}$ ), получаем максимальную полуамплитуду  $a$  колебаний изображений за отрезок времени  $t$

$$a = \rho - \bar{\rho} = \frac{668,7 P}{T^2} \cdot \frac{\rho'' S}{2R_3} \cdot \frac{c - \bar{c}}{h_3} \quad (4)$$

Как видим, амплитуда колебаний изображений зависит от флуктуаций аномального градиента температуры, длины  $S$  и эквивалентной высоты  $h_3$  визирного луча.

Для исследования этой зависимости по экспериментальным результатам восьми дней наблюдений были сгруппированы амплитуды колебаний изображений отдельно для каждого направления по интервалам разности температур через  $0,1-0,2^\circ$ . В обработку были взяты измерения только для неустойчивой температурной стратификации.

Из табл. 2 следует, что амплитуды колебаний изображений увеличиваются для всех линий нивелирования при увеличении градиента температуры. Кроме того, замечена их зависимость от длины линии и высоты визирного луча, что довольно хорошо согласуется с формулой (4).

Рассмотрим вопрос редуцирования измеренных зенитных расстояний при неустойчивой стратификации на периоды нейтральной стратификации (спокойных изображений). Заменяя в формуле (2) коэффициенты рефракции частными углами рефракции, получаем

$$\rho - \rho_n = \frac{668,7 P}{T^2} \cdot \frac{\rho'' S}{2R_3} \cdot \frac{c}{h_3} \quad (5)$$

Подставляя теперь значение  $\bar{c}$  из формулы (4) в (5) и заменяя  $\rho - \rho_n = \bar{z} - z_n$ , находим

$$z_n - \bar{z} = a - \frac{668,7 P}{T^2} \cdot \frac{\rho'' S}{2R_3} \cdot \frac{c}{h_3}, \quad (6)$$

где  $z$  — зенитные расстояния.

Из формулы (6) следует, что для редуцирования зенитных расстояний на периоды нейтральной стратификации нужно знать максимальную полуамплитуду колебаний изображений  $a$  и максимальный аномальный градиент температуры  $c$ .

Таблица 2  
Зависимость амплитуды колебаний  $a$  от разности температур  $\Delta t$ , °С

$\Delta t$	Направление							
	1	2	3	4	Я	5	А	6
-0,1	6,2"	3,8"	2,4"	3,0"	3,5"	5,6"	3,2"	4,0"
-0,2	10,1	6,4	4,7	5,2	3,4	7,1	2,6	5,8
-0,3	14,0	9,0	7,0	7,4	3,3	8,6	2,1	7,6
-0,4	16,2	11,2	8,2	7,9	3,6	10,8	3,1	8,9
-0,6	19,3	13,7	10,6	9,6	4,5	14,3	3,8	11,1
-0,8	21,6	14,5	12,1	11,4	—	16,0	—	12,3
Среднее	14,6	9,8	7,5	7,4	3,7	10,4	3,0	8,3

Чтобы оценить второй член в правой части формулы (6)  $\Pi c$ , были вычислены значения  $z_n$  с помощью высот пунктов из геометрического нивелирования 2 кл. по формуле одностороннего геодезического нивелирования при  $k_n = 0,15$ , а также измеренные значения  $z$  при соприкосновении горизонтальной нити инструмента с серединой колеблющегося верхнего среза визирной цепи и измеренные значения  $a$ .

Таблица 3  
Значения второго члена правой части формулы (6)  $\Pi c$

Время, ч	Направление							
	1	2	3	4	Я	5	А	6
12	-0,7"	+2,1"	+0,7"	+1,2"	-0,3"	+0,2"	+1,2"	-1,1"
14	+2,6	+2,1	-1,3	-2,8	-0,5	-0,2	-1,2	0,0
16	+0,1	+0,1	-2,8	+0,3	+0,1	+1,9	-0,9	+0,5

Значения величины второго члена правой части формулы (6) приведены для всех линий нивелирования в табл. 3. В обработку взяты измерения, полученные из восьми приемов для 12, 14 и 16 ч местного времени. Из табл. 3 видно, что значения  $\Pi c$  по величине и знаку имеют случайный характер. Причем среднее квадратическое отклонение  $m = \pm 1,8''$ . Как показали многими авторами, такая величина близка к погрешностям соб-

ственно измерений зенитных расстояний. Поэтому можно считать, что средняя величина аномального градиента по лучу визирования  $s$  близка к нулю.

Полученный нами эффект дает возможность редуцировать зенитные расстояния, измеренные при неустойчивой стратификации, на период спокойных изображений. Для этого, пренебрегая вторым членом правой части формулы (6), записываем

$$z_n = \bar{z} + a. \quad (7)$$

Значит, редуцированное на периоды спокойных изображений зенитное расстояние равно зенитному расстоянию  $\bar{z}$ , измеренному обычным способом, плюс максимальная полуамплитуда колебаний изображений.

Таблица 4

Измеренные и редуцированные зенитные расстояния

Время, ч	Направление							
	1	2	3	4	Я	5	А	6
Измеренные $\bar{z}$								
	89°43'	92°14'	90°09'	89°11'	89°07'	89°57'	88°45'	88°30'
12	32,5"	40,0"	53,9"	21,5"	13,0"	32,0"	26,8"	24,7"
14	32,0	39,7	53,2	21,0	15,0	33,6	23,8	27,8
16	33,7	37,0	52,5	22,2	16,4	34,8	22,0	26,7
Редуцированные $z_n$								
12	23,0	32,0	50,0	17,5	09,5	26,6	21,4	20,4
14	22,9	32,1	49,1	15,9	09,5	26,2	19,0	21,5
16	26,0	31,0	49,5	17,9	12,3	28,3	19,3	22,0
Периоды спокойных изображений	25,9	29,9	52,3	18,7	12,0	26,4	20,2	21,5

Следовательно, при неустойчивой термической стратификации атмосфера как бы стремится к состоянию безразличного равновесия. Поэтому измерению зенитных расстояний посредством визирования на верх максимальных флуктуаций визирных целей примерно соответствует  $k_n=0,15$ , а частота их колебания для длин сторон до 5 км обычно не превышает 30 с по времени.

Необходимо также отметить, что в периоды устойчивой стратификации этот эффект может появляться только в определенных условиях вследствие замедленных турбулентных движений, зависящих в основном от скорости ветра.

Таким образом, измерения зенитных расстояний предлагаемым методом необходимо выполнять только в периоды неустойчивой и нейтральной стратификации, т. е. начиная со времени окончания периода спокойных изображений утром и заканчивая при установлении спокойных изображений в вечернюю видимость.

Для проверки предлагаемого метода по экспериментальным данным были составлены средние значения из восьми приемов измеренных и редуцированных расстояний по всем направлениям для 12, 14 и 16 ч и для периода спокойных изображений. Результаты исследований приведены в табл. 4.

Как видно из табл. 4, величины  $\bar{z}$  значительно отличаются от  $z_n$ . Однако редуцированные зенитные расстояния близки к измеренным в периоды спокойных изображений. Причем расхождения редуцированных  $z_n$  для различного времени дня не превышают 3'', что вполне соответствует точности собственно измерений зенитных расстояний.

Следовательно, метод редуцирования измеренных зенитных расстояний на периоды спокойных изображений позволяет исключить погрешности рефракционного происхождения.

**Список литературы:** 1. Джуман Б. М. О точности измерения зенитных расстояний в периоды спокойных изображений при ветре. — «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», 1966, вып. 4. 2. Джуман Б. М. Определение вертикального градиента температуры геодезическим методом при нейтральной стратификации в приземном слое воздуха. — «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», 1974, вып. 20. 3. Изотов А. А., Пеллинен Л. П. Исследование земной рефракции и методов геодезического нивелирования. — «Тр. ЦНИИГАиК», 1955, вып. 102.

Работа поступила 26 мая 1977 года. Рекомендована кафедрой прикладной геодезии Львовского политехнического института.

УДК 528:551.542:517,564

Л. Н. ДЯЧИК

Львовский политехнический институт

## ВЫЧИСЛЕНИЕ БЕЗРАЗМЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ПОТЕНЦИАЛ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

Проф. Н. К. Мигаль обратил наше внимание на то, что параметры внешнего потенциала Земли являются в принципе величинами переменными, связанными с перераспределением атмосферных масс. Эта идея, использованная и в работе [3], позволила нам получить коэффициенты разложения аномалий атмосферного давления по сферическим функциям до четвертого порядка для 30 дат. Значения этих коэффициентов дали возможность вычислить безразмерные параметры  $\Delta C_{n0}$ ,  $\Delta C_{nm}$ ,  $\Delta d_{nm}$ , являющиеся, по сути дела, поправками в коэффициенты внешнего потенциала Земли за влияние атмосферы\*.

\* В литературе [5] известна формула, выражающая поправку в силу тяжести за влияние атмосферы. В отличие от формулы из [5], где учтено влияние стандартной атмосферы, мы далее занимаемся влиянием реальной атмосферы по ее состоянию, фиксируемому гидрометеорологическими наблюдениями.